

东南大学电工电子实验中心

实 验 报 告

课程名称： 电路实验

第 1、3 次实验

实验名称： 电子元器件参数测试

院（系）： 电气工程学院 专 业： 电气工程及其自动化

姓 名： 王皓冬 学 号： 16022627

实 验 室： 103 室 实验组别：

同组人员： 李烨凡 实验时间： 2023 年 11 月 13 日

评定成绩： 审阅教师：

一、实验目的

1. 了解电流表电压表的物理模型,运用欧姆定律,通过对测量误差的分析、推理,掌握电流表内接法、电流表外接法等测量方法;通过对不同测量方法产生误差的估算、分析,建立技术方法存在适用范围的概念。
2. 了解二极管、稳压二极管的特性与应用特点,掌握稳压管伏安特性测量方法。

二、实验原理（预习报告内容，如无，则简述相关的理论知识点。）

1. 二极管的导电特性：

二极管最重要的特性就是单方向导电性。在电路中，电流只能从二极管的正极流入，负极流出。

a. 正向特性

在电子电路中，将二极管的正极接在高电位端，负极接在低电位端，二极管就会导通，这种连接方式，称为正向偏置。

必须说明，当加在二极管两端的正向电压很小时，二极管仍然不能导通，流过二极管的正向电流十分微弱。

只有当正向电压达到某一数值（这一数值称为“门槛电压”，锗管约为 0.2V，硅管约为 0.6V）以后，二极管才能真正导通。

导通后二极管两端的电压基本上保持不变（锗管约为 0.3V，硅管约为 0.7V），称为二极管的“正向压降”。

b. 反向特性

在电子电路中，二极管的正极接在低电位端，负极接在高电位端，此时二极管中几乎没有电流流过，此时二极管处于截止状态，这种连接方式，称为反向偏置。

二极管处于反向偏置时，仍然会有微弱的反向电流流过二极管，称为漏电流。

当二极管两端的反向电压增大到某一数值，反向电流会急剧增大，二极管将失去单方向导电特性，这种状态称为二极管的击穿。

c. 稳压二极管：

稳压二极管是一个特殊的面接触型的半导体硅二极管，其伏安特性曲线与普通二极管相似，但反向击穿曲线比较陡，稳压二极管工作于反向击穿区，由于它在电路中与适当电阻配合后能起到稳定电压的作用，故称为稳压管。

稳压管反向电压在一定范围内变化时，反向电流很小，当反向电压增高到击穿电压时，反向电流突然猛增，稳压管从而反向击穿，

此后，电流虽然在很大范围内变化，但稳压管两端的电压的变化却相当小，利于这一特性，稳压管访问就在电路到起到稳压的作用了。

而且，稳压管与其它普通二极管不同，反向击穿是可逆性的，当去掉反向电压稳压管又恢复正常，但如果反向电流超过允许范围，二极管将会发热击穿而损坏，所以要用电阻限制其电流。

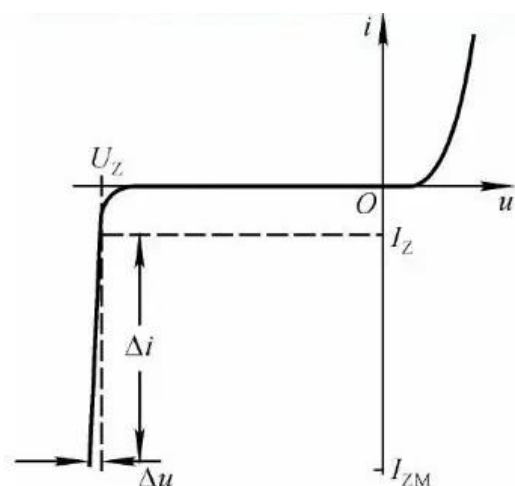


图 1 稳压二极管特性曲线

2. 正弦波信号的参数定义

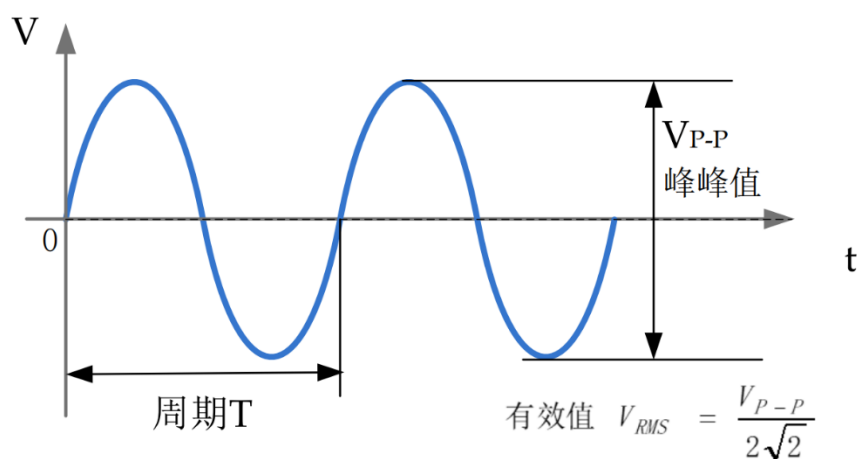


图 2 正弦波信号的参数定义

3. 了解分析稳压管伏安特性测量方法

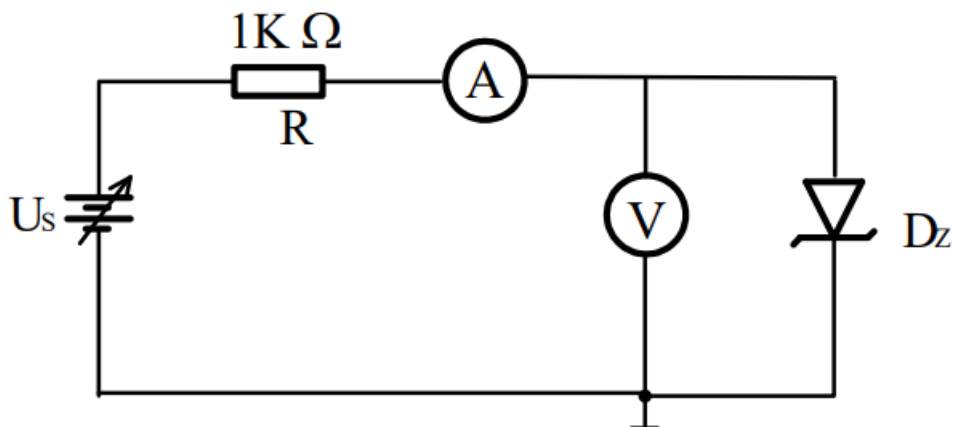


图 3 测量稳压二极管的伏安特性

4. DDS 信号源作用、基本功能和使用方法

λSDG1000X 信号源性能指标： " 频率范围： 最大输出频率 60MHz " 幅度范围： 最大输出幅度 20V_{p-p}

常用功能按键

" Waveforms : 用于选择基本波形

" Parameter : 用于设置基本波形参数，直接进行参数设置；

" Ch1/Ch2 : 切换 CH1 或 CH2 为当前选中通道。开机时默认选中 CH1, 用户界面 CH1 对应的区域高亮显示，且通道状态栏边框显示为绿色；按下此键可选中 CH2, 用户界面 CH2 区域高亮显示，且边框显示黄色。" 在 Waveforms 操作界面下有一列波形选择按键，分别为正弦波、方波、三角波、脉冲波、高斯白噪声、DC 和任意波 "

通道输出控制：使用 Output 按键，将开启/关闭前面板的输出接口的信号输出。选择相应的通道，按下 Output 按键，该按键灯被点亮，同时打开输出开关，输出信号。再次按 Output 按键，将关闭输出。

数字键盘：用于编辑波形时参数值的设置，直接键入数值可改变参数值。

旋钮：用于改变波形参数中某一数位的值的大小

方向键：使用旋钮设置参数时，用于移动光标以选择需要编辑的位，使用数字键盘输入参数时，用于删除光标左边的数字。



图 4 DDS 信号源面板

三、实验内容

(1) 用数字万用表直接测量 ($10\ \Omega$ 、 $2\text{M}\ \Omega$)、电容 ($0.022\ \mu\text{F}$) 的参数，测量二极管（稳压二极管）的极性。

(1) 示波器的补偿（校准）信号测量

(a) 在示波器稳定显示其补偿（校准）信号，观测其频率、幅度、高低电平电压值，记录波形；

测量方法：在屏幕上先读出波形垂直所占格数或水平所占格数，然后用“格数 \times 档位 (V/DIV, S/DIV)”方式计算相应电压或时间。

探头 衰减	幅度			高电平电压			低电平电压			周期			频率
	档 位	格 数	计算 值	档 位	格 数	计算 值	档 位	格 数	计算 值	档 位	格 数	计算 值	
$\times 1$	500mV	4	2V	500mV	4	2V	300mV	0	0V	200 μs	5	1ms	1000 Hz

(b) 将示波器的探头开关衰减变为“ $\times 10$ ”，记录波形，观察实验现象并作出

相应处理。

探头 衰减	幅度			高电平电压			低电平电压			周期			频率
×10	档 位	格 数	计算 值	档 位	格 数	计算 值	档 位	格 数	计算 值	档 位	格 数	计算 值	1000 Hz
	50mV	4	200mV	50mV	4	200mV	50mV	0	0V	300us	2	1ms	

(2) 用万用表进行电阻测量 用万用表电阻档测量找出器件中 10Ω、2MΩ 电阻，记录其实际测量值，同时识别其标称值；将实际测量值与标称值比较。

标称阻值	10Ω	2MΩ
测量值	10.514	1.981
实测误差	5.14%	1.9%

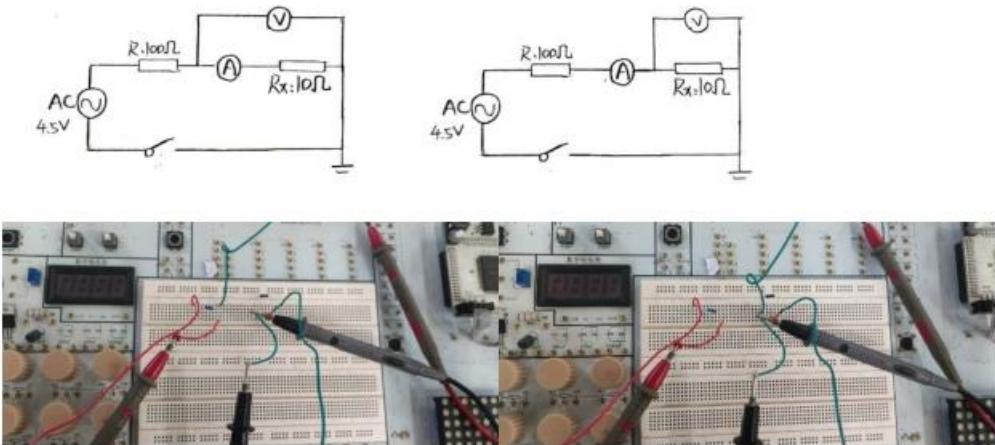
(3) 调节直流稳压源输出电压（验收） a) 用台式数字万用表测量电压输出，对比两者的电压指示值；

CH1 直流稳压电源输出电压显示值	1.01V
万用表测量输出电压值	1.00337V
实测误差	0.663%

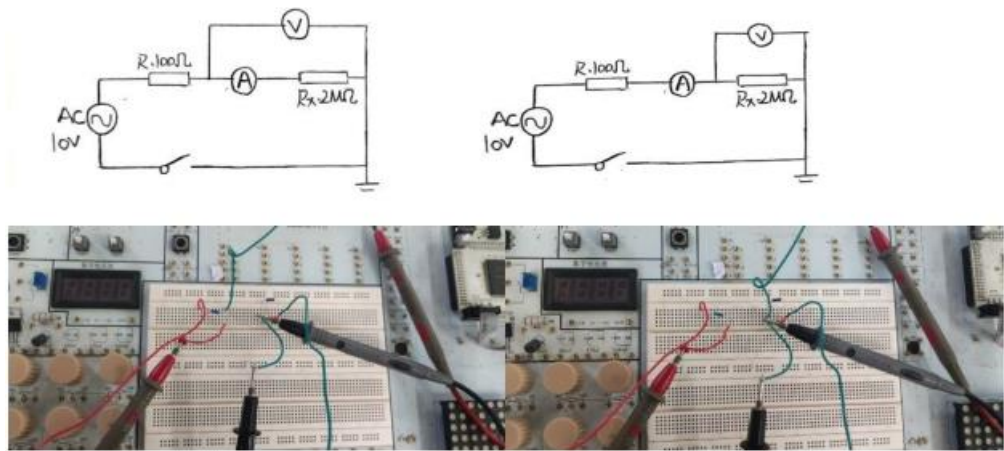
(2) 设计电路，进行电阻阻值的测量（10Ω，2MΩ）；

a) 选择合适的电源电压，分别用电流表内接和电流表外接两种方法测量每个电阻阻值；

10Ω 电阻测量电路（电流表内接、电流表外接测量电路及实物图片拍摄）



2M Ω 电阻测量电路（电流表内接、电流表外接测量电路及实物图片拍摄）



b) 记录测量数据，对比分析测量误差及误差原因，并以提高测量精度为准则给出实验结论。

电源电压(U)	测量对象 (标称值)	测量方法	电压(U)	电流(I)	电阻(R)	误差
4.5V	10 Ω	电流表内接	0.482V	42.1mA	11.45 Ω	14.5%
4.5V	10 Ω	电流表外接	0.423V	42.8mA	9.88 Ω	1.2%
10.0V	2M Ω	电流表内接	10.07V	4.85 μA	2.07M Ω	3.7%
10.0V	2M Ω	电流表外接	10.07V	5.46 μA	1.84M Ω	8.0%

实验数据分析（误差和误差原因）：

1. 电阻本身的电阻值存在一定的误差、导线等并非理想器件，存在一定阻值；
2. 万用表所得电流值与电压值并非恒定的数值，其值处于某个区间来回跳动，无法准确读数。
3. 电流表与电压表非理想电表带来的误差：

首先给出测量公式：

$$R = \frac{U}{I}$$

电流表内接，所测结果偏小。产生该误差的原因是：电流表测的是流过电阻的电流，是准确值；电压表测的是电流表和电阻两端的电压， $U = U_R + U_A$ ，偏大。因而结果偏大。

电流表外接，所测结果偏大。产生该误差的原因是：电流表测的是流过电阻及电压表的电流， $I = I_R + I_V$ ，偏大；电压表测的是电阻两端的电压，是准确值。因而结果偏小。在实际中，可以采用比较所测电阻与 $\sqrt{R_A R_V}$ 比较的方法判断是大电阻还是小电阻。

实验结论：

电流表外接法适合小电阻的测量，其测量结果会偏小；

电流表内接法适合大电阻的测量，其测量结果会偏大。

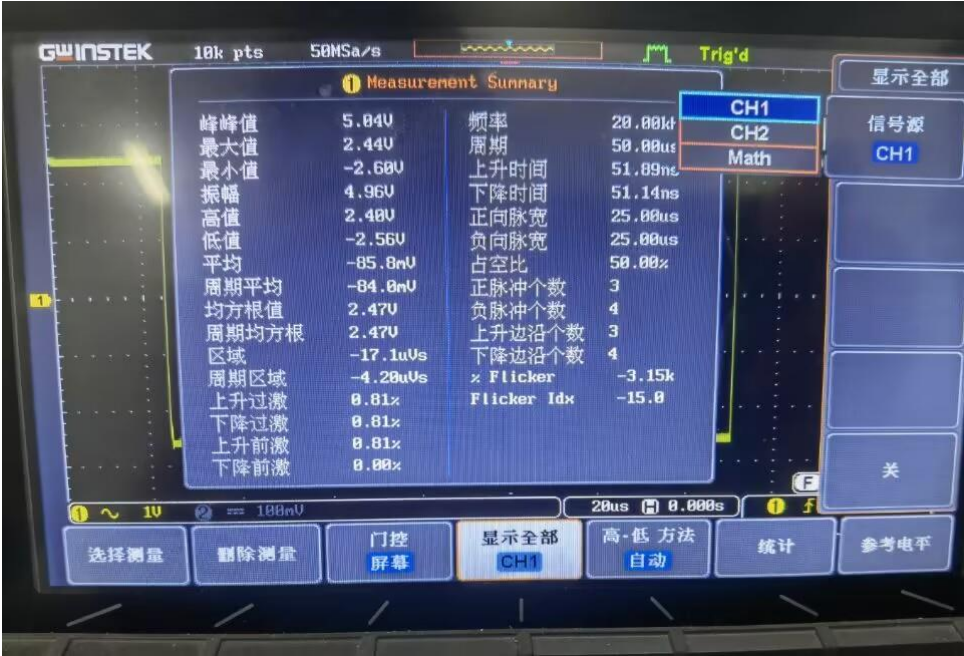
(3) DDS 信号源输出 20kHz 的脉冲 (Pulse) 波形，低电平 0V，高电平 5V，占空比 50%。示波器稳定显示波形。

- a) 用示波器测量信号的周期、频率、幅度和低电平电压、高电平电压、上升时间、下降时间（测量方法：使用面板上的“Measure”按钮，调出菜单，在显示屏上读数）；用万用表测量其直流分量。
- b) 改变示波器测量通道的耦合方式，观察记录波形：波形、周期、频率、幅度、低电平电压、高电平电压各会有什么变化，并解释原因；
- c) 调整示波器通道菜单探头倍率（探针电压（固纬）），观察记录波形参数变化（10×，0.1×），并说明最终数据处理方法；
- d) 改变触发源、调节触发电平，观察显示波形有无影响？

表 1 脉冲信号的测量

信号源	示波器测量结果							万用表测量结果
频 率 (Hz)	幅度	高电平电压	低电平电压	周期	频率	上升时间	下降时间	直流分量
20k	4.96V	4.92V	-40.0mA	50.0us	20.0kHz	62.77ns	61.92ns	2.42V

b) 改变后的数值如下：



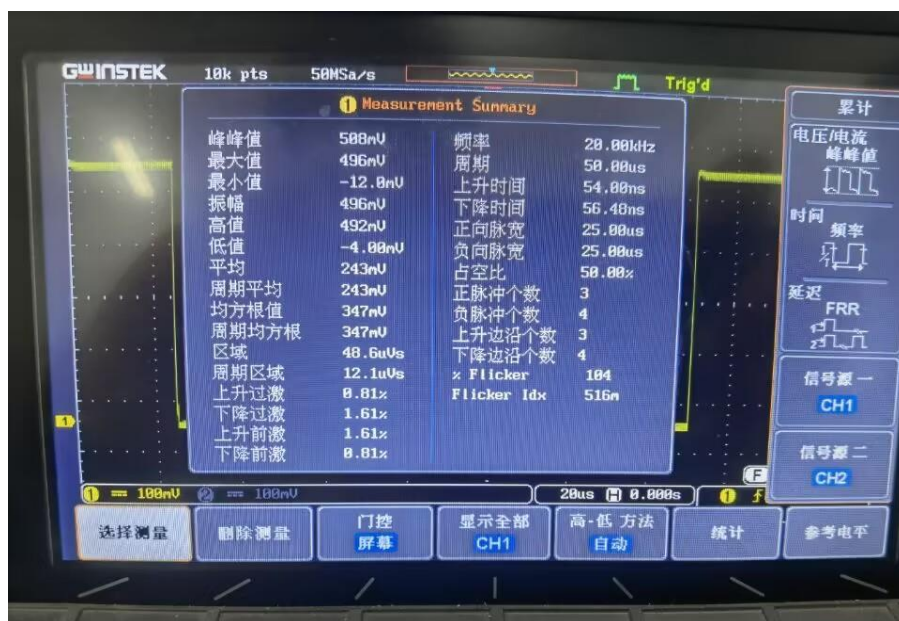
可以看到，周期、频率、幅度几乎不变；波形不变，但整体下移至中轴约与坐标轴重合。原因是，交流耦合时，示波器只能显示交流分量，滤去了直流部分。

c) 改变后数值如下：

10x:



1x:



可以观察到，探头倍率改变后，周期、频率等数值不变，而振幅、高低值等数据改变幅度对应探头改变幅度。

d) 有影响。



可以观察到，示波器无法正确显示波形。

(2) 正弦波测量，设置频率为 1.5kHz，峰峰值为 3V。测量频率，周期，峰峰值，有效值。并解释峰峰值-有效值、周期-频率对应关系。

测量方法：

- a) 用光标 “Cursor” 来测量。
- b) 使用 “Measure” 按钮，调出菜单，在显示屏上读数。

表 2 正弦波的测量

测量方法	峰峰值	周期	有效值	频率
a	3.00V	668us	/	/
b	3.02V	666.4us	2.11V	1.501kHz

峰峰值约为有效值的 $\sqrt{2}$ 倍；周期约为频率的倒数。

其中，峰峰值与有效值的准确关系应为方均根值关系，在此处约表征为 $\sqrt{2}$ 。

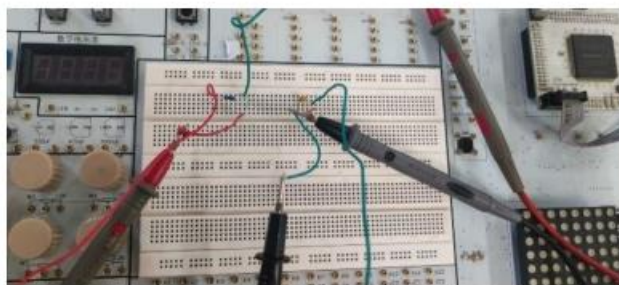
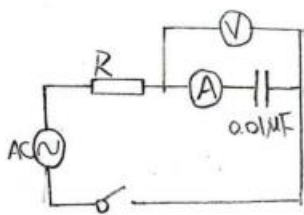
(3) 测量电容和电测量电容 (0.022 μ F、330 μ H 电感)

- a) 选择信号源作为激励源，选择信号频率，计算相应容抗、感抗；

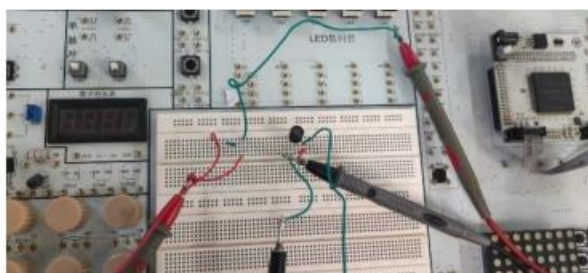
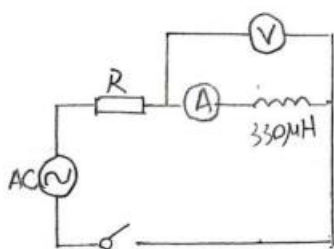
测量频率	容抗	测量频率	感抗
1kHz	7234.3 Ω	10kHz	20.7 Ω
10kHz	723.4 Ω	20kHz	41.5 Ω

- b) 选择电阻、电容，或者电阻、电感构成电路，接入激励源；
- c) 选择测量方法，画出测量电路；

电容测量电路及实物图片拍摄：



电感测量电路及实物图片拍摄：



d) 在不同频率段分别测量并记录实验数据（各测两组数据），计算电容、电感的参数；

激励源频率 (Hz)	测量对象 (标称值)	测量方法	电压(U)	电流(I)	元件参数 (测量值)	误差
1k	0.022 μ F	内接法	1.7648V	0.2731mA	0.0246 μ F	10%
10k	0.022 μ F	内接法	0.1754V	2.5572mA	0.0231 μ F	5%
10k	330 μ H	内接法	0.53V	26.12mA	322.9 μ H	2.1%
20k	330 μ H	内接法	0.93V	23.08mA	320.7 μ H	2.8%

e) 思考：如何提高测量精度？

（对比上述实验中的测量误差，分析误差原因，以及如何降低测量误差提高测量精度。）

由于本实验中的容抗与感抗是大阻抗，误差的主要来源是电流表分压。对于电容的测量，由矢量三角形可得，要使阻抗近似等于容抗，则需要容抗远大于电流表电阻。容抗的表达式：

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

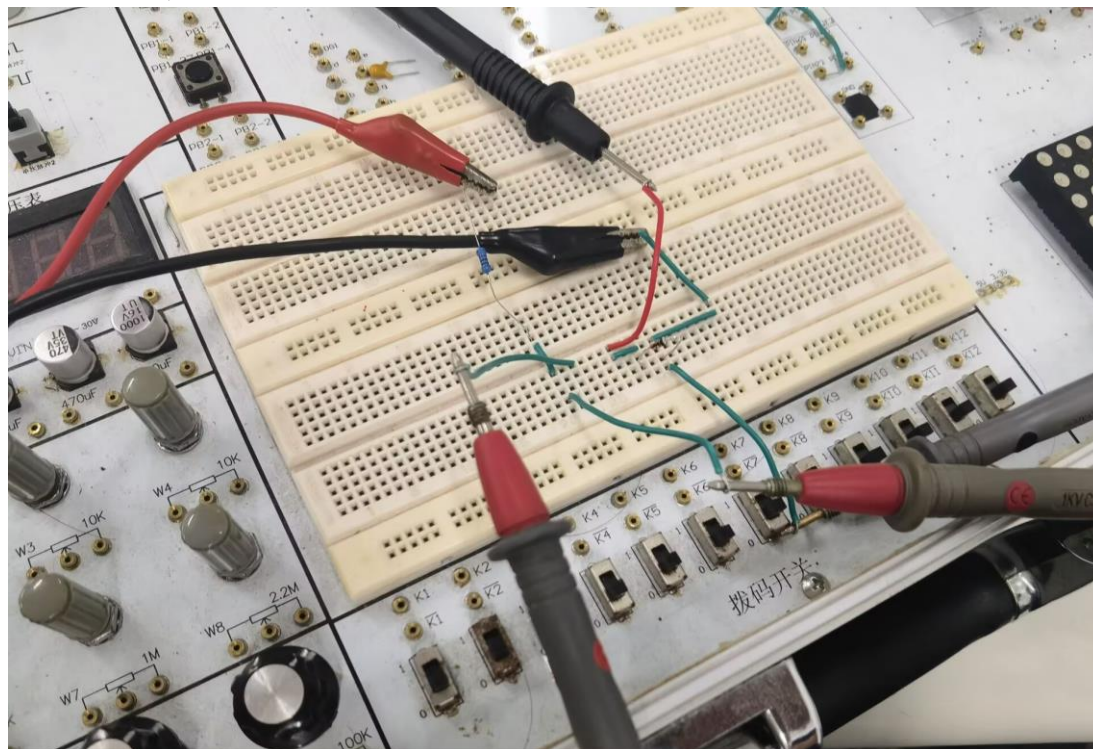
故欲使容抗值真实值与测量值接近，需要激励源频率尽可能小。同理，对于电感的测量，由矢量三角形可得，要使阻抗近似等于感抗，同样需要感抗远大于电流表电阻。感抗的表达式：

$$X_L = \omega L$$

故欲使感抗值真实值与测量值接近，需要激励源频率尽可能大。但上述频率的取值都应合理。

(4) 稳压二极管伏安特性的测量：（提高要求）

a) 测量电路：



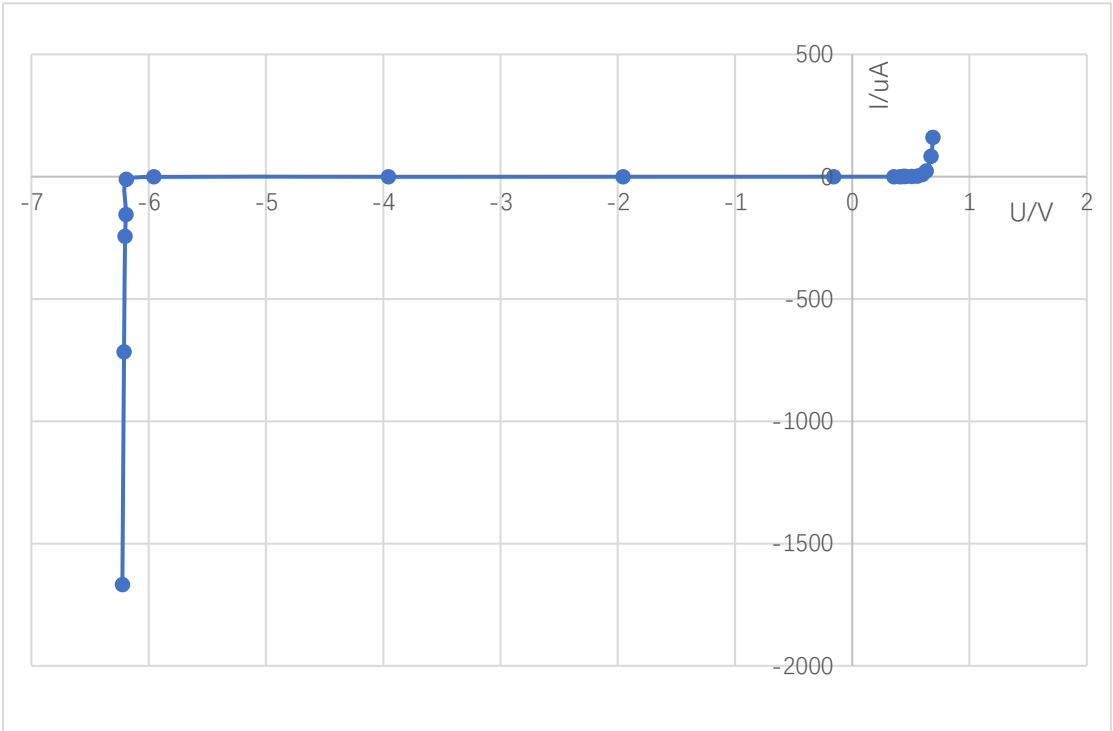
（图中有导线未接）

b) 数据记录表格

电压/V	电流/ μ A
-6.248	-3569
-6.224	-1668.44
-6.21	-717.12
-6.201	-243.84
-6.193	-155.041
-6.19	-10.686
-5.957	-0.842
-3.956	-0.403
-1.953	-0.203
-0.157	-0.025
0.356	0.078
0.406	0.129
0.431	0.178
0.442	0.206
0.457	0.265
0.507	0.732
0.554	2.453
0.597	8.55
0.631	23.511

0.672	82.903
0.689	160.256

c) 描绘稳压二极管的伏安特性曲线



四、实验总结

(实验出现的问题及解决方法、思考题(如有)、收获体会等)

这两次实验中主要出现的问题包括:

1. 电路设计与搭接: 测量二极管特性时, 由于电路搭接错误, 导致花费了很多时间修正测量电路;
2. 实验仪器操作不熟练: 测量交流分量时没有正确转接红表笔, 导致所测数据异常并花费了很多时间寻找错误。

经过这两次的实验, 对于面包板上电路的设计更为熟练了; 同时, 电路实验的导线用法不同于数电实验, 有与表笔相接等更广泛的用法。

五、参考资料 (预习、实验中参考阅读的资料)

电路教学计划 2023